

Approved For Release STAT  
2009/08/31 :  
CIA-RDP88-00904R000100130

SECRET

Approved For Release  
2009/08/31 :  
CIA-RDP88-00904R000100130



Вторая Международная конференция  
Организации Объединенных Наций  
по применению атомной энергии  
в мирных целях

A/CONF/15/P/2232  
USSR  
ORIGINAL: RUSSIAN

Не подлежит оглашению до официального сообщения на Конференции

25 YEAR RE-REVIEW

ТЕОРИЯ И ПРАКТИКА ПРИМЕНЕНИЯ ПРИБОРОВ РЕЛЕЙНОГО ТИПА,  
ОСНОВАННЫХ НА ИСПОЛЬЗОВАНИИ РАДИОАКТИВНЫХ ИЗОТОПОВ

Н.Н.Шумиловский, В.А.Янушковский, И.М.Таксар

Широкой областью применения атомной энергии в мирных целях является использование радиоактивных изотопов для контроля технологических параметров. В СССР создание и производство приборов автоматического контроля с использованием ядерных излучений принимает все более крупные размеры.

Настоящий доклад посвящен теории и практике применения радиоактивных приборов релейного типа, действие которых основано на использовании ядерных излучений от радиоактивных изотопов.

Характерной особенностью радиоактивных приборов релейного типа является процесс накопления заряда, а отсюда и роста напряжения на интегрирующей цепочке (РС) при поступлении на нее электрических импульсов от приемников излучения. Рост напряжения осуществляется до некоторого значения, определяемого порогом срабатывания регистрирующего реле.

С точки зрения способа регистрации импульсов эти приборы строятся по двум различным схемам (рис. 1 а и 1 б), получившим соответственно название "импульсной схемы" (1а) и схемы регистрации среднего тока или "токовой схемы" (1б) (1).

В этих схемах на интегрирующую цепочку подаются импульсы напряжения, различные по форме. В импульсной схеме благодаря наличию стандартизатора импульсов возрастание напряжения на интегрирующей цепочке зависит только от интенсивности облучения приемника излучений, амплитуды и длительности стандартизованных импульсов и от параметра цепочки. В токовой же схеме возрастание напря-

- 2 -

жения, в отличие от импульсной, зависит, кроме того, от типа принимаемого приемника и от режима его работы.

Существенным в работе приборов релейного типа является наличие флюктуаций напряжения на интегрирующей цепочке, которые в импульсной схеме обусловлены главным образом статистическим характером радиоактивного распада, а в токовой схеме также дополнительными флюктуациями импульсов по амплитуде и длительности, которые связаны с процессами, происходящими в приемнике излучения. Основные параметры приборов релейного типа: "чувствительность и быстродействие" зависят от величины флюктуаций напряжения на его интегрирующей цепочке, что в конечном счете определяет область применения подобных приборов.

Таким образом, импульсная схема работает более стабильно. Учет флюктуаций напряжения на интегрирующей цепочке в зависимости от интенсивности регистрируемого излучения и от электрических параметров схемы легко может быть произведен для радиоактивного реле, работающего в импульсном режиме. В этом случае часто пользуются известной формулой, вытекающей из теоремы Кэмпбелла, для оценки среднего квадратичного отклонения напряжения на интегрирующей цепочке (2).

Однако эта формула справедлива только для установившегося режима, когда среднее время между двумя импульсами значительно превышает длительность импульса.

К радиоактивному реле часто предъявляются требования надежной регистрации кратковременного процесса облучения приемника. На интегрирующую цепочку в этом случае поступает ограниченное число импульсов с большим коэффициентом заполнения. С целью достижения быстродействия регистрации излучения, релейная схема должна работать до наступления стационарного режима. Поэтому такой процесс требует специального рассмотрения.

Эквивалентная схема накопления напряжения на интегрирующей цепочке при поступлении на нее стандартизованных импульсов показана на рис. 2. Здесь:  $\Gamma$  - генератор стандартизованных импульсов с амплитудой  $U_m$ ;  $C$  и  $R$  - емкость и сопротивление интегрирующей цепочки;  $\zeta$  - сопротивление зарядной цепи;  $C_n$  - переходная емкость;  $B_1$  и  $B_2$  - идеальные вентили;  $U$  - напряжение на интегрирующей цепочке.

Рассмотрим процесс увеличения напряжения на интегрирующей цепочке при поступлении на нее импульсов, возбуждаемых радиоактив-

2919-99

- 3 -

ным источником и стандартизованных по амплитуде и длительности. Если среднее время между двумя последовательными импульсами равно

$$\bar{T} = \frac{1}{N} - \tau, \quad /1/$$

то плотность вероятности распределения величины  $T$  равна

$$\rho(T) = \frac{1}{\bar{T}} \cdot e^{-\frac{T}{\bar{T}}}, \quad /2/$$

где  $\bar{N}$  - средняя частота поступления импульсов;  $\tau$  - длительность импульса.

В момент появления импульса на интегрирующей цепочке, напряжение на емкость  $C$  возрастает при постоянной времени цепи заряда  $\tau C$ , где  $\tau$  - эквивалентное сопротивление зарядной цепи - равно сумме внутреннего сопротивления генератора импульсов и внутреннего сопротивления вентиля.

В интервале времени между импульсами напряжение на цепочке падает при постоянной времени цепи разряда  $RC$ . При этом полагаем, что  $R \gg \tau$ .

Для инженерного расчета введем упрощающее предположение, которое сильно облегчает рассмотрение вопроса: будем считать, что схема регистрирует радиоактивное излучение в том случае, когда мгновенное значение напряжения на интегрирующей цепочке к моменту поступления очередного импульса достигнет величины порога срабатывания регистрирующего реле, которую будем считать постоянной. Легко показать, что ошибка в расчете числа поступивших на схему импульсов, достаточного для регистрации, при сделанном допущении не превышает  $\pm 1$  импульса. Такая точность для практических целей вполне пригодна. Поэтому в рассматриваемой статистической задаче достаточно найти среднее значение напряжения на интегрирующей цепочке в начале  $K$ -импульса и среднюю квадратичную флуктуацию этого напряжения.

Процесс заряда интегрирующей цепочки описывается системой дифференциальных уравнений:

$$\left. \begin{aligned} U_1 + U + \tau C \frac{dU_1}{dt} &= U_m \\ U_1 + U + \tau C \frac{dU}{dt} + \tau \cdot \frac{U}{R} &= U_m \end{aligned} \right\} \quad /3/$$

- 4 -

где  $U_1$  - падение напряжения на переходной емкости  $C_n$ .

Если в момент поступления  $K$ -импульса на интегрирующей цепочке было напряжение  $U_k$ , а на переходной емкости  $U_{1k}$ , то, согласно уравнениям /3/ и с учетом экспоненциального убывания напряжения на цепочке в интервале между импульсами, получаем следующее выражение для величины напряжения в момент поступления  $/K + 1/$  импульса:

$$U_{k+1} = (d_1 + d_2 U_k + d_3 U_{1k}) e^{-\alpha T_k}, \quad /4/$$

где:  $T_k$  - время между  $K$  и  $/K + 1/$  импульсами, являющееся статистической величиной с законом распределения /1/;

$$d_1 = \frac{\beta}{k_1 - k_2} \cdot U_m (e^{-k_2 \tau} - e^{-k_1 \tau});$$

$$d_2 = \frac{\beta}{k_1 - k_2} \cdot \left[ \left( \delta - \frac{k_2}{\beta} \right) e^{-k_1 \tau} - \left( \delta - \frac{k_1}{\beta} \right) e^{-k_2 \tau} \right];$$

$$d_3 = \frac{\beta}{k_1 - k_2} \cdot (e^{-k_2 \tau} - e^{-k_1 \tau});$$

$$\alpha = \frac{1}{RC}; \quad \beta = \frac{1}{\tau C}; \quad \gamma = \frac{1}{\tau C_n}; \quad \delta = 1 + \frac{\tau}{R}; \quad /5/$$

$$k_{1,2} = \frac{1}{2} (\alpha + \beta + \gamma \pm \sqrt{(\alpha + \beta + \gamma)^2 - 4\alpha\gamma}).$$

Обычно величина переходной емкости выбирается такой, чтобы к моменту поступления очередного импульса она полностью разрядилась через вентиль  $B_2$ .

В этом случае  $U_{1k} = 0$  и

$$U_{k+1} = (d_1 + d_2 U_k) e^{-\alpha T_k}. \quad /6/$$

Ранее авторами /3/ исследовался процесс роста напряжения на интегрирующей цепочке, при поступлении на нее стандартизованных

2919-99

- 5 -

импульсов, по эквивалентной электрической схеме накопителя напряжения, в которой влияние переходной емкости было исключено. При этом, общий вид связи /6/ между напряжениями на цепочке в начале  $K$  и  $K+1$  импульса имеет тот же вид. Отсюда следует, что влияние переходной емкости сводится к изменениям электрических параметров зарядной цепи /4/. Однако полученные в этих работах выражения для среднего значения напряжения  $\bar{U}_{k+1}$  и для среднеквадратичной флуктуации этого напряжения справедливы только в случае, когда  $K\alpha T \ll 1$ , то есть они справедливы для небольшого количества импульсов, поступающих на цепочку.

Ниже приводятся полные выражения для среднего значения напряжения и среднеквадратичной флуктуации на цепочке, которые не связаны подобными ограничениями.

Так же, как в работе (3), выражая последовательно напряжение для  $U_{k-1}$  импульса через  $U_k$ , а также учитывая, что  $\bar{U}_1 = 0$ , получим выражение для импульса в виде ряда:

$$U_{k+1} = d_1 \sum_{n=1}^k d_2^{n-1} \cdot e^{-\alpha \sum_{e=1}^n T_e}, \quad /7/$$

2919-99

где  $T_1, T_2, T_3, \dots, T_k$  - соответственно интервалы времени между импульсами от 1 до  $K+1$ .

Таким образом,  $U_{k+1}$  является функцией  $K$  независимых случайных величин, плотность вероятности каждой из которых дается формулой /1/. Плотность вероятности совокупности всех  $T_i$  ( $i=1, 2, \dots, k$ ) равна произведению плотностей

$$\rho(T_1, T_2, \dots, T_k) = \frac{1}{T^k} \cdot e^{-\frac{T_1 + T_2 + \dots + T_k}{T}}. \quad /8/$$

Отсюда

$$\begin{aligned} \bar{U}_{k+1} &= \int_0^\infty \dots \int_0^\infty U_{k+1} \rho(T_1, T_2, \dots, T_k) dT_1 dT_2 \dots dT_k = \\ &= d_1 \left[ \frac{1}{\alpha T + 1} + d_2 \left( \frac{1}{\alpha T + 1} \right)^2 + d_2^2 \left( \frac{1}{\alpha T + 1} \right)^3 + \dots \right] = \\ &= d_1 \sum_{n=1}^k d_2^{n-1} \left( \frac{1}{1 + \alpha T} \right)^n. \end{aligned} \quad /9/$$

- 6 -

При выводе соотношения /9/ использовалось то обстоятельство, что

$$\int_0^\infty \dots \int_0^\infty e^{-\alpha \sum_{e=1}^n \tau_e} \varphi(\tau_1, \tau_2, \dots, \tau_k) d\tau_1 d\tau_2 \dots d\tau_k. \quad /10/$$

Суммируя ряд /9/, получим:

$$\bar{U}_{k+1} = d_1 \frac{1}{d\bar{\tau}+1} \cdot \frac{1 - \left(\frac{d_2}{\alpha\bar{\tau}+1}\right)^k}{1 - \frac{d_2}{\alpha\bar{\tau}+1}}, \quad /11/$$

для вычисления среднеквадратичной флуктуации необходимо найти  $\overline{U_{k+1}^2}$ .

Общее выражение для  $U_{k+1}^2$  согласно /7/ равно

$$U_{k+1}^2 = d_1^2 \sum_{m=1}^k \sum_{n=1}^k d_2^{n+m-2} e^{-\alpha \left( \sum_{p=1}^m \tau_p + \sum_{e=1}^n \tau_e \right)}. \quad /12/$$

Отсюда

$$\begin{aligned} \overline{U_{k+1}^2} &= \int_0^\infty \dots \int_0^\infty U_{k+1}^2 \varphi(\tau_1, \tau_2, \dots, \tau_k) d\tau_1 d\tau_2 \dots d\tau_k = \\ &= 2d_1^2 \sum_{m=1}^k \sum_{n=m+1}^k d_2^{n+m-2} \frac{1}{(1+2\alpha\bar{\tau})^m} \cdot \frac{1}{(1+\alpha\bar{\tau})^{n-m}} + \\ &+ d_1^2 \sum_{n=1}^k d_2^{2n-2} \frac{1}{(2\alpha\bar{\tau}+1)^n}. \end{aligned} \quad /13/$$

Суммируя полученные выражения и учитывая, что  $\overline{\Delta U_{k+1}^2} = \overline{U_{k+1}^2} - (\bar{U}_{k+1})^2$ , получим окончательное выражение для среднеквадратичной флуктуации:

$$\overline{\Delta U_{k+1}^2} = \frac{d_1^2}{d_2^2} \left[ \frac{1+z}{1-z} \cdot \frac{y-z-(yz)^k}{1-yz} - 2 \frac{z^{k+1}}{1-z} \cdot \frac{y-y^k}{1-y} - z^2 \frac{(1-z^k)^2}{(1-z)^2} \right], \quad /14/$$

2919-99

- 7 -

где

$$x = \frac{d_2}{1 + \alpha \bar{T}} ; \quad y = \frac{d_2 (1 + \alpha \bar{T})}{1 + 2 \alpha \bar{T}} .$$

Стационарному режиму соответствует  $K \rightarrow \infty$ . Так как  $x$  и  $y$  всегда меньше единицы, то в этом случае имеем (см. ур. 11) :

$$\overline{U_k}_{k \rightarrow \infty} = d_1 \frac{1}{1 + \alpha \bar{T} - d_2} . \quad /15/$$

Выражение для среднеквадратичной флуктуации в этом предельном случае примет вид:

$$\overline{\Delta U_k^2} = \frac{d_1^2}{d_2^2} \left[ \frac{1+x}{1-x} \cdot \frac{y}{1-y} - \frac{x^2}{(1-x)^2} \right] . \quad /16/$$

2919-99

Переход к обычно рассматриваемому выражению, вытекающему из теоремы Кэмпбелла, соответствует отсутствию переходного емкостного сопротивления ( $C_n \rightarrow \infty$ ), длительности импульса, поступающего на интегрирующую цепочку, равной нулю ( $\tau = 0$ ), и отсутствию сопротивления зарядной цепи ( $r = 0$ ). Эти условия соответствуют заряду конденсатора за бесконечно малое время до потенциала  $U_m$ . В этом случае

$$d_1 = U_m ; \quad d_2 = 1 ; \quad y = \frac{1 + \alpha \bar{T}}{1 + 2 \alpha \bar{T}} ; \quad x = \frac{1}{1 + \alpha \bar{T}} ,$$

и из выражений /15/ и /16/ получаем

$$\overline{U_k} = U_m \bar{N} . R . C , \quad /17/$$

$$\overline{\Delta U_k^2} = \frac{U_m^2}{2} \cdot \bar{N} . R . C . \quad /18/$$

Интересно отметить, что для стационарного режима выражения для средних значений любой степени величины напряжения на

- 8 -

интегрирующей цепи легко получаются из самых общих соображений.

Действительно, из выражения /4/

$$\overline{U}_{k+1} = (d_1 + d_2 U_k) e^{-\alpha T_k}. \quad /19/$$

Так как  $U_k$  не зависит от  $T_k$  [ $U_k = U_k(T_1, T_2, \dots, T_{k-1})$ ],  
то

$$\overline{U}_{k+1} = (d_1 + d_2 \overline{U}_k) e^{-\alpha \overline{T}_k}. \quad /20/$$

Учитывая то, что  $k \rightarrow \infty$ ,  $\overline{U}_{k+1} = \overline{U}_k$  и согласно /10/

$$e^{-\alpha \overline{T}_k} = \frac{1}{1 + \alpha \overline{T}_k}, \text{ сразу получаем /15/.}$$

Точно так же  $\overline{U}_k^2$  можно получить из следующего соотношения

$$\begin{aligned} \overline{U}_{k+1}^2 &= \overline{U}_k^2 = \overline{(d_1 + d_2 U_k^2 + 2d_1 d_2 U_k)^2} e^{-2\alpha T_k} = \\ &= (d_1 + d_2^2 \overline{U}_k^2 + 2d_1 d_2 \overline{U}_k) \frac{1}{1 + 2\alpha \overline{T}_k}. \end{aligned} \quad /21/$$

Справедливость полученных выражений /11/ и /14/ была проверена экспериментально на установке с осциллографической регистрацией процесса накопления напряжения на интегрирующей цепочке (3). Изображения процесса нарастания напряжения фотографировались. На рис.3 представлена одна из типичных осциллограмм этого процесса.

По среднему значению напряжения на интегрирующей цепочке для одного из порядковых импульсов определялась величина сопротивления зарядной цепи. По найденному значению находились средние квадратичные флуктуации для разных количеств поступивших на цепочку импульсов. Средняя квадратичная флуктуация, полученная из усреднения 40 экспериментальных значений, хорошо согласуется с расчетом в пределах ошибки эксперимента (3). Полученные аналитические выражения открывают возможности инженерных расчетов электрических схем для релейной регистрации быстродействующих процессов.

2919 - 99

- 9 -

Из формул /11/ и /14/ легко также получить среднее значение напряжения и среднюю квадратичную флуктуацию этого напряжения в зависимости от  $t$  - времени взаимодействия "источник-счетчик". Для этого выражения /11/ и /14/ следует усреднить по  $K$ .

В результате получаем:

$$\bar{U}_{k+1} = \frac{d_1}{d_2} \cdot \bar{x} \frac{1 - e^{-\bar{N}(1-x)t}}{1 - \bar{x}}, \quad /22/$$

$$\begin{aligned} \Delta \bar{U}_{k+1}^2 = & \frac{d_1^2}{d_2^2} \cdot \left[ \frac{1+x}{1-x} \cdot \frac{yx - e^{-\bar{N}(1-yx)t}}{1-yx} - \right. \\ & - 2 \cdot \frac{yx \cdot e^{-\bar{N}(1-x)t} - \bar{x} \cdot e^{-\bar{N}(1-yx)t}}{(1-x)(1-y)} - \\ & \left. - \bar{x}^2 \frac{1 - 2e^{-\bar{N}(1-x)t} + e^{-\bar{N}(1-x^2)t}}{(1-x)^2} \right]. \quad /23/ \end{aligned}$$

2919-59

Примером практического применения прибора релейного типа, построенного по импульсной схеме, является индикатор радиоактивной маркировки стальной ленты в процессе ее производства (5).

Автоматический контроль за маркировкой стали обрабатываемых рулонов производится на прокатных и резательных станах. Необходимость применения приборов импульсного типа в этом случае вызвано тем, что в процессе производства стальной ленты активность меток на ленте сильно уменьшается как в связи с потерями на отдельных технологических операциях, так и в связи с естественным распадом в течение цикла обработки металла. В результате, на последних технологических операциях приборы должны надежно зарегистрировать метку в тех условиях, когда за 0,1 сек. на интегрирующую цепочку поступает всего лишь около 10-15 импульсов.

На рис.4 приводится общий вид радиоактивного индикатора релейного типа, предназначенного для регистрации марки стальной ленты. Электрическая схема прибора приведена в (6).

Внедрение метода на одном из Ленинградских заводов дало экономию в сотни тысяч рублей (7).

Как уже упоминалось выше, приборы релейного типа, построенные по схеме регистрации среднего тока приемника излучения

- 10 -

(рис. 4 В), обладают более низкой чувствительностью и меньшим быстродействием. Детальный анализ флюктуаций напряжения на интегрирующей цепочке в этом случае не может быть проведен так же, как для импульсной схемы вследствие того, что величина импульсов и флюктуации их амплитуды и длительности зависят не только от типа приемника излучения, но и от режима его работы. Для весьма приближенной оценки среднего напряжения и среднеквадратичной флюктуации можно использовать методы, подобные изложенным в (8, 9), которые справедливы только для стационарного режима.

Поэтому при конструировании токовых приборов релейного типа, работающих в нестационарном режиме, приходится пользоваться экспериментальной методикой, приведенной в (1).

На исследуемую схему подается радиоактивное излучение с изменяемой интенсивностью. Подсчитывается количество импульсов и измеряется время, необходимое для срабатывания реле.

Типичная зависимость, полученная таким способом, показана на рис. 5. Пунктирными линиями обозначена область статистического разброса.

Подобная методика очень удобна для исследования динамических параметров приборов релейного типа, работающих как в токовом, так и в импульсном режимах.

Приборы релейного типа, работающие в токовом режиме, представляют большой интерес для массового практического использования. В СССР разработаны основы типизации этих приборов и освоено их серийное производство (10).

В основу унификации элементов приборов релейного типа положено разделение их на два типовых элемента: радиоактивного датчика и электронного релейного блока. Радиоактивный источник или входит в конструкцию датчика, или является самостоятельным элементом прибора. В датчиках используются однотипные приемники излучения - газоразрядные галогенные счетчики.

Электрическая схема электронного релейного блока, как правило, состоит из одного электронного каскада усиления напряжения на интегрирующей цепочке, которая включена в цепь управляющей сетки электронной лампы. Анодной нагрузкой лампы служит электромагнитное (регистрирующее) реле. Газоразрядный счетчик включается последовательно с интегрирующей цепочкой. Электрическая схема питается от стабилизированного напряжения.

2919-56

## - II -

С помощью трех модификаций описанной электрической схемы можно решить большое число задач позиционного контроля.

Первая схема используется в приборах, основанных на регистрации подвижного элемента, маркированного радиоактивным изотопом. В этой схеме электронная лампа открыта при отсутствии излучения. Вторая схема используется в приборах, основанных на прерывании излучения контролируемой средой. В ней при облучении счетчика электронная лампа открыта, при прерывании же излучения лампа запирается. Третья схема предназначена для регистрации прерывистого излучения, скорость прерывания которого может изменяться в широких пределах. Особенностью этой схемы является наличие гистерезиса у характеристики при срабатывании и отпуске электромагнитного реле, стоящего в анодной цепи лампы.

Необходимость осуществления гистерезиса объясняется наличием флуктуации тока в анодной цепи в связи с флуктуациями напряжения на интегрирующей цепочке. В результате, при достижении управляющим напряжением величины, необходимой для срабатывания реле, возникают многократные ложные срабатывания, которые часто называют "дребезгом". Для исключения этого явления скачкообразно изменяется чувствительность схемы при первом срабатывании реле. Подобное изменение чувствительности можно производить в разных частях электрической схемы прибора. Наиболее быстродействующим является электронный переключатель, построенный по триггерной схеме, в частности, триггер Шмидта (11). Такие переключатели целесообразно использовать в приборах релейного типа, построенных по импульсной схеме. Триггер Шмидта применен нами в радиоактивных индикаторах марки стали (рис. 4). В приборах, работающих в токовом режиме, могут быть использованы более простые способы. Эти способы основаны на изменении электрических параметров в анодной или сеточной цепях электронной лампы при срабатывании реле.

Большинство элементов всех трех схем однотипны. Схемы собираются в одинаковых металлических корпусах. Корпус блока герметичен. Все это облегчает серийный выпуск блоков и удешевляет их стоимость.

Общий вид унифицированного электронного блока приведен на рис. 6.

- 12 -

Радиоактивные приборы релейного типа различного назначения комплектуются с разными датчиками. Радиоактивные датчики имеют стандартную электрическую схему, состоящую из газоразрядного счетчика и омического сопротивления, соединенных последовательно. В датчиках применяются низковольтные галогенные счетчики, серийно выпускающиеся промышленностью. Во всех типах датчиков электрические элементы схемы надежно герметизированы.

В настоящее время промышленностью выпускаются несколько типов датчиков, каждый из которых предназначен для решения определенного круга задач.

Датчик первого типа состоит из металлического цилиндрического корпуса с размещенными в нем галогенным счетчиком и омическим сопротивлением и свинцового одностороннего коллиматора клинообразного вида. Датчик предназначен для направленной регистрации гамма-излучения. Совместно с одним из электронных блоков он используется для регистрации положения уровня жидкости, в которой плавает радиоактивный поплавочек с препаратами кобальта-60 или цезия-137. Он прикрепляется с помощью фланца снаружи сосуда на заданном максимальном или минимальном уровне заполнения сосуда (12). В другом случае он может быть использован для блокировки, например, с целью ограничения перемещения подвижной части машины. Газоразрядный счетчик, применяемый в этом датчике, имеет температурный диапазон от  $-40$  до  $+150^{\circ}\text{C}$ .

Датчик второго типа предназначен для регистрации жесткого бета-излучения. Он выпускается в двух конструктивных модификациях в соответствии с конструктивными особенностями применяемого в нем счетчика, который имеет два рабочих окна для поступления излучения; из них одно расположено с торца цилиндрического баллона, а другое — с боковой поверхности.

Счетчики такой конструкции, разработанные Перельманом С.И., Прагером И.А. и Тумульканом А.Д., предназначены для работы в токовом режиме. Рабочий ток равен 30 мка. Цельностеклянный баллон счетчика имеет катод из полупроводниковой пленки, полученной путем термической диссоциации четыреххлористого олова. Поверхностная плотность окешек не более  $35 \text{ мг/см}^2$ . Длина 50 мм, диаметр 13 мм. Диапазон рабочих температур от  $-40$  до  $+100^{\circ}\text{C}$ .

В случае использования бокового рабочего окна счетчик с укрепленным на специальной скобе радиоактивным источником

- 13 -

(препарат стронция-90), служит для контроля заполнения мерных сосудов жидкостью. Датчик опускается внутрь сосуда на заданный уровень. Прерывание излучения слоем жидкости между источником и счетчиком регистрируется электронным блоком второго типа. Точность регистрации уровня с этим датчиком составляет не более  $\pm 2$  мм по высоте сосуда (13).

Торцевой вариант датчика второго типа, наряду с датчиками третьего типа, предназначены для различного рода блокировочных устройств. Они применяются при автоматическом контроле заполнения непрозрачных сосудов небольшого диаметра. Работа этих приборов основана на регистрации уровня заполнения при просвечивании сосуда мягким гамма-или жестким бета-излучением. Вместе с электронными блоками третьего типа эти датчики нашли применение в автоматическом контроле заполнения алюминиевых труб. Приборы устанавливаются на тубонабивных автоматах. Они контролируют степень заполнения труб, подают сигнал на сортирующее устройство и производят счет заполненных труб (14).

Приборы этого типа выполняют также самостоятельную задачу по счету продукции в непрерывном производстве, ведут учет выработки штамповочного и прессового оборудования и др.

С помощью радиоактивных контролеров осуществляется контроль содержимого тары независимо от характера упакованного или расфасованного продукта, контролируется степень наполнения тары и правильность размещения упакованного материала.

Радиоактивный датчик четвертого типа применяется для регистрации радиоактивной маркировки проволочных и стержневых материалов. В частности, он нашел применение с электронным блоком первого типа в приборах для индикации места сварного стыка с нанесенной меткой, содержащей радиоактивный фосфор-32, в непрерывном процессе волочения стальной проволоки (15).

На станах многократного волочения перед последним фильером устанавливается радиоактивный датчик из 8 галогенных счетчиков, расположенных по цилиндрической поверхности. По оси образованного цилиндра проходит контролируемая проволока. При прохождении радиоактивной метки через датчик сигнал с электронного блока поступает на схему управления станом и электромагнитными ножницами.

2919 - 99

- 14 -

Датчик пятого типа отличается возможностью изменения формы и площади рабочего окна с помощью специальной металлической шторки с целью ограничения потока регистрируемого жесткого бета-излучения. Он, в частности, находит применение в приборах, осуществляющих контрольные, счетные и блокировочные функции. Этот датчик нашел применение в радиоактивном позиционном регуляторе плотности жидкости в непрерывном процессе получения раствора заданной концентрации (16). Он регистрирует изменение положения маркированного радиоактивным изотопом стержня ареометра, плавающего в потоке контролируемой жидкости.

Особое место занимают датчики шестого типа. Они не получили еще определенных конструктивных форм. Строятся они на малогабаритных галогенных счетчиках и используются для регистрации жесткого бета-излучения. Эти датчики предназначены для установки в стрелочных измерительных приборах различных систем, применяющихся для измерения различных физических величин (17). Они применяются в качестве предельных регистраторов положения указательной стрелки измерительных приборов.

На рис. 7 показана одна из типовых конструкций такого датчика с галогенным счетчиком, закрытым с одной стороны металлическим экраном. Счетчик с экраном укрепляется на специальном стержне, положение которого на шкале прибора отвечает значению регулируемого параметра и фиксируется. К указательной стрелке прикрепляется отвод, маркированный стронцием-90. Когда излучение попадает на счетчик, электронный блок выдает сигнал на систему дистанционного контроля или регулирования.

Устройства подобного типа получили распространение в установках для автоматического регулирования температуры, давления, напряжения, тока и других параметров.

Некоторые промышленные образцы радиоактивных датчиков и типичные методы их использования вместе с типовыми электронными блоками в приборах позиционного контроля демонстрируются на выставке по мирному использованию атомной энергии в павильоне СССР.

Примеры решения целого ряда других практических задач позиционного контроля с помощью радиоактивных приборов релейного типа приведены в (18, 19).

2919-99

- 15 -

Можно отметить, что развитие приборов релейного типа в ближайшем будущем будет происходить не столько по пути разработки новых типов датчиков со специализированными газоразрядными счетчиками, сколько по пути дальнейшей унификации имеющихся типов датчиков, а также типизации конструкций этих датчиков и конструкций основных элементов датчиков, в том числе и галогенных счетчиков.

### Л и т е р а т у р а

1. Янушковский В.А. Сборник трудов конференции АН Латв.ССР по применению радиоактивных изотопов в народном хозяйстве и науке. Рига, декабрь 1956. Труды Института физики, вып. 10, Изд. АН Латв.ССР (1957).
2. Элмор В., Сендс М. Электроника в ядерной физике, 251-252, Инлит. М. (1951).
3. Таксар И.М., Янушковский В.А. Труды Второй Всесоюзной конференции по применению радиоактивных и стабильных изотопов в народном хозяйстве и науке. Москва, апрель 1957, изд. АН СССР (1958).
4. Таксар И.М., Янушковский В.А. Сборник трудов научно-технической конференции по радиоактивным методам контроля и регулирования производственных процессов. Рига, сентябрь 1957. Изд. АН Латв.ССР (1958).
5. Янушковский В.А. Труды сессии АН СССР по мирному использованию атомной энергии. Заседание Отделения технических наук, Москва, июль (1955).
6. Крыжановский В.В., Сафьянц И.И., Тумулькан А.Д., Янушковский В.А. Заводская лаборатория, 3 (1956).
7. Крыжановский В.В., Сафьянц И.И., Янушковский В.А. Труды Второй Всесоюзной конференции по применению радиоактивных и стабильных изотопов в народном хозяйстве и науке. Москва, апрель 1957. Изд. АН СССР (1958).
8. Медведев С.В., Латышев В.К. Приборостроение, 8 (1956).
9. Maier-Leibnitz H. Z. angew. Phys. 9, 2 (1957).
10. Кундзиньш А.Т., Ладэ Г.И., Таксар И.М., Шпор К.К., Янушковский В.А. Сборник трудов научно-технической конференции по радиоактивным методам контроля и регулирования производ-

- 16 -

- ственных процессов. Рига, сентябрь 1957. Изд. АН Латв. ССР (1958).
11. Накки О.С. Генераторы развертки 74-76. Госэнергоиздат (1948).
  12. Наука - производству. Карточные аннотации работ, выполняемых для промышленности и строительства, вып. 2. Изд. АН Латв. ССР (1957).
  13. Банашек В.Э., Гавалов И.В., Огилец М.В., Янушковский В.А. Сборник трудов научно-технической конференции по радиоактивным методам контроля и регулирования производственных процессов. Рига, сентябрь 1957. Изд. АН Латв. ССР (1958).
  14. Янушковский В.А., Банашек В.Э. Маслособойно-жировая промышленность, 5 (1958).
  15. Янушковский В.А. Народное хозяйство Советской Латвии, 1 (1958).
  16. Банашек В.Э., Коландо В.В., Таксар И.М., Шпор К.К., Янушковский В.М. Сборник трудов научно-технической конференции по радиоактивным методам контроля и регулирования производственных процессов. Рига, сентябрь 1957. Изд. АН Латв. ССР (1958).
  17. Гунне Х.Э., Тумулькан А.Д., Эйманис И.А., Янушковский В.А. Труды Института физики АН Латв. ССР, вып. 9, 1956.
  18. Янушковский В.А. Применение радиоактивных излучений в промышленности. Изд. АН Латв. ССР (1957).
  19. Янушковский В.А. Радиоактивные методы контроля в производстве. Изд. ГИТК Совета Министров Латв. ССР и Совета народного хозяйства Латв. ССР. (1958).

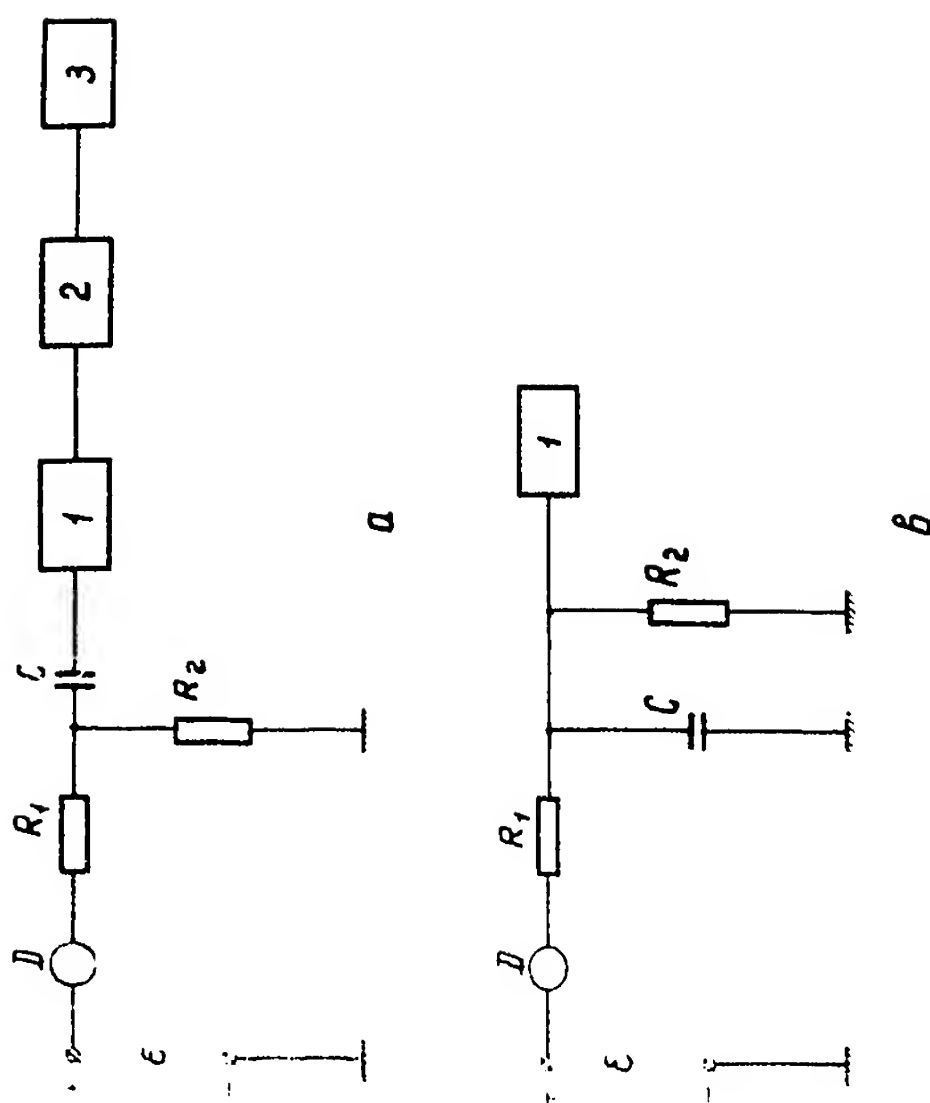


Рис.1. Блок-схемы приборов релейного типа: а - импульсная схема;  
 б - детектор излучения; 1 - стандартизатор импульсов;  
 2 - интегрирующая цепочка; 3 - регистрирующее реле; в - схема  
 регистрации среднего тона, 1 - регистрирующее реле

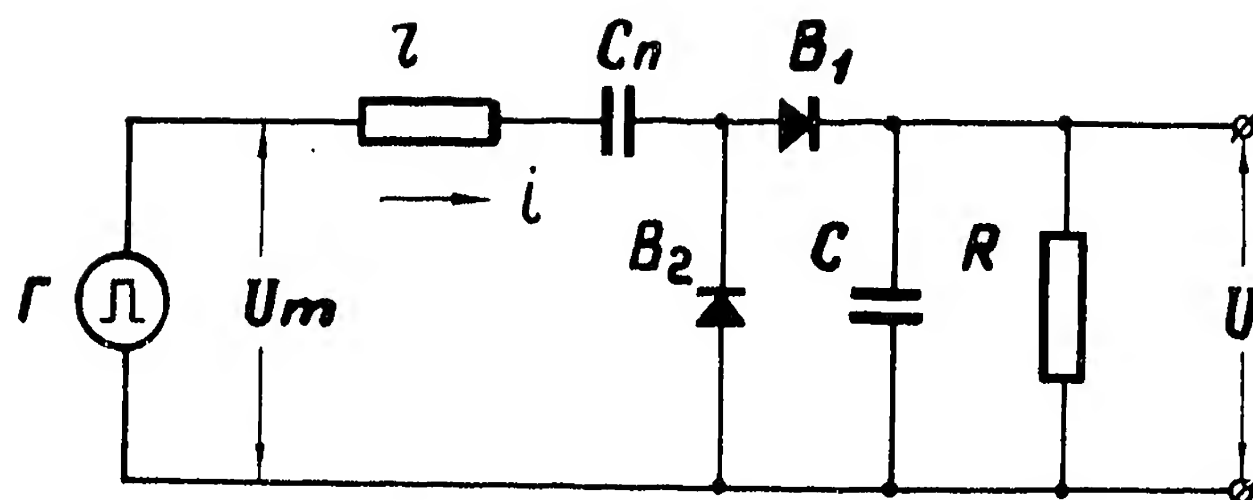


Рис. 2. Эквивалентная схема накопления напряжения на интегрирующей цепочке

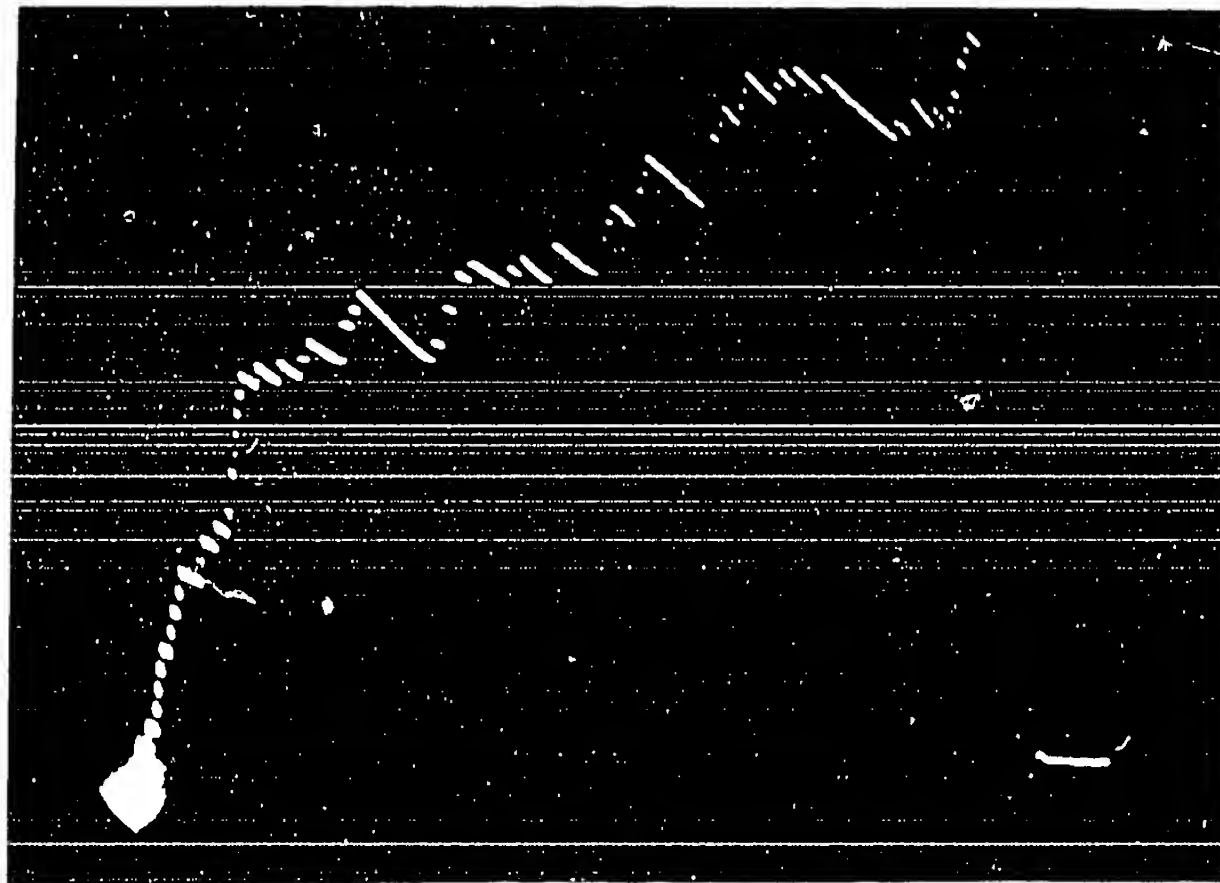


Рис. 3. Осциллограмма процесса накопления напряжения на интегрирующей цепочке при поступлении на нее стандартизованных импульсов.

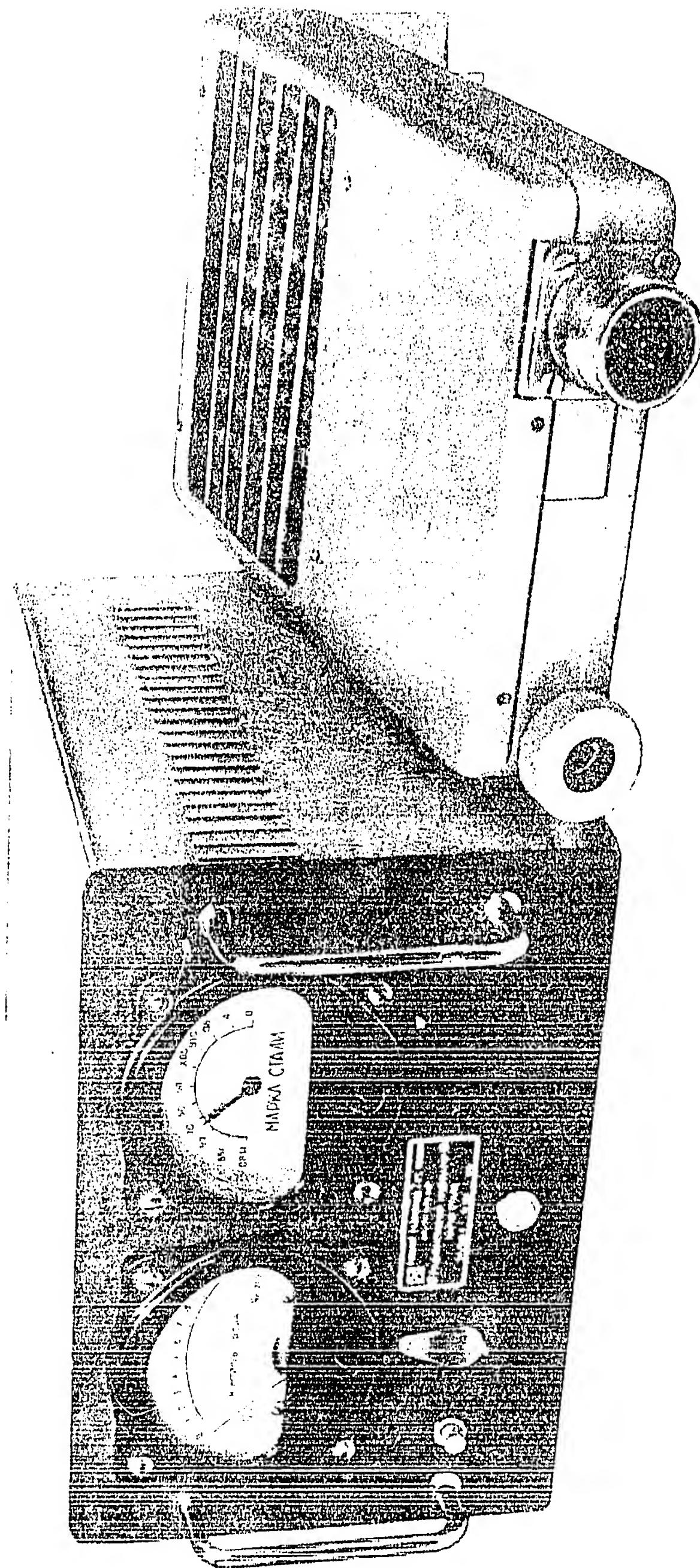


Рис.4. Общий вид прибора - радиоактивного индикатора марки стали

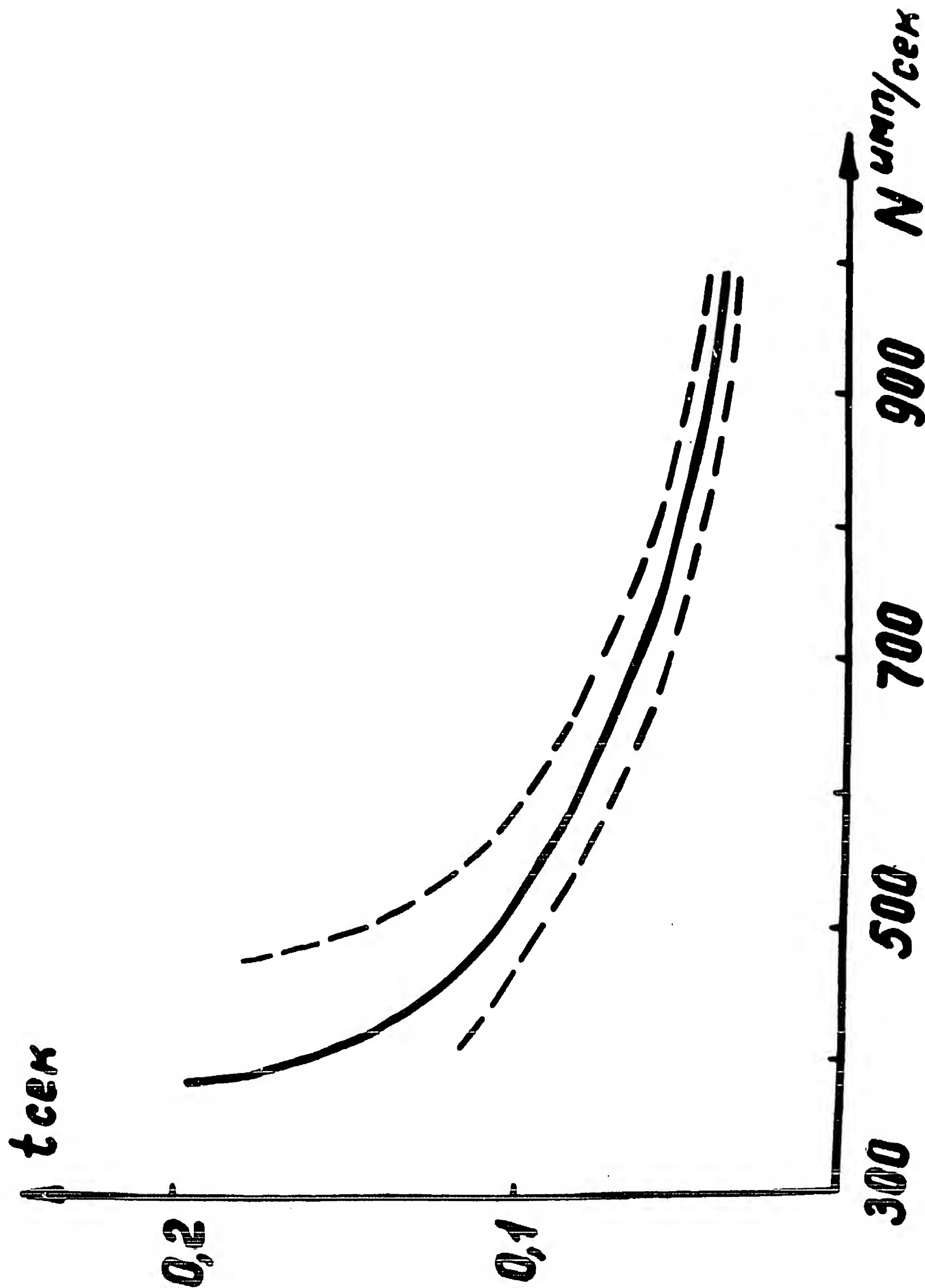


Рис.5. Зависимость времени срабатывания релейной схемы, работающей в режиме регистрации среднего тока, от интенсивности облучения

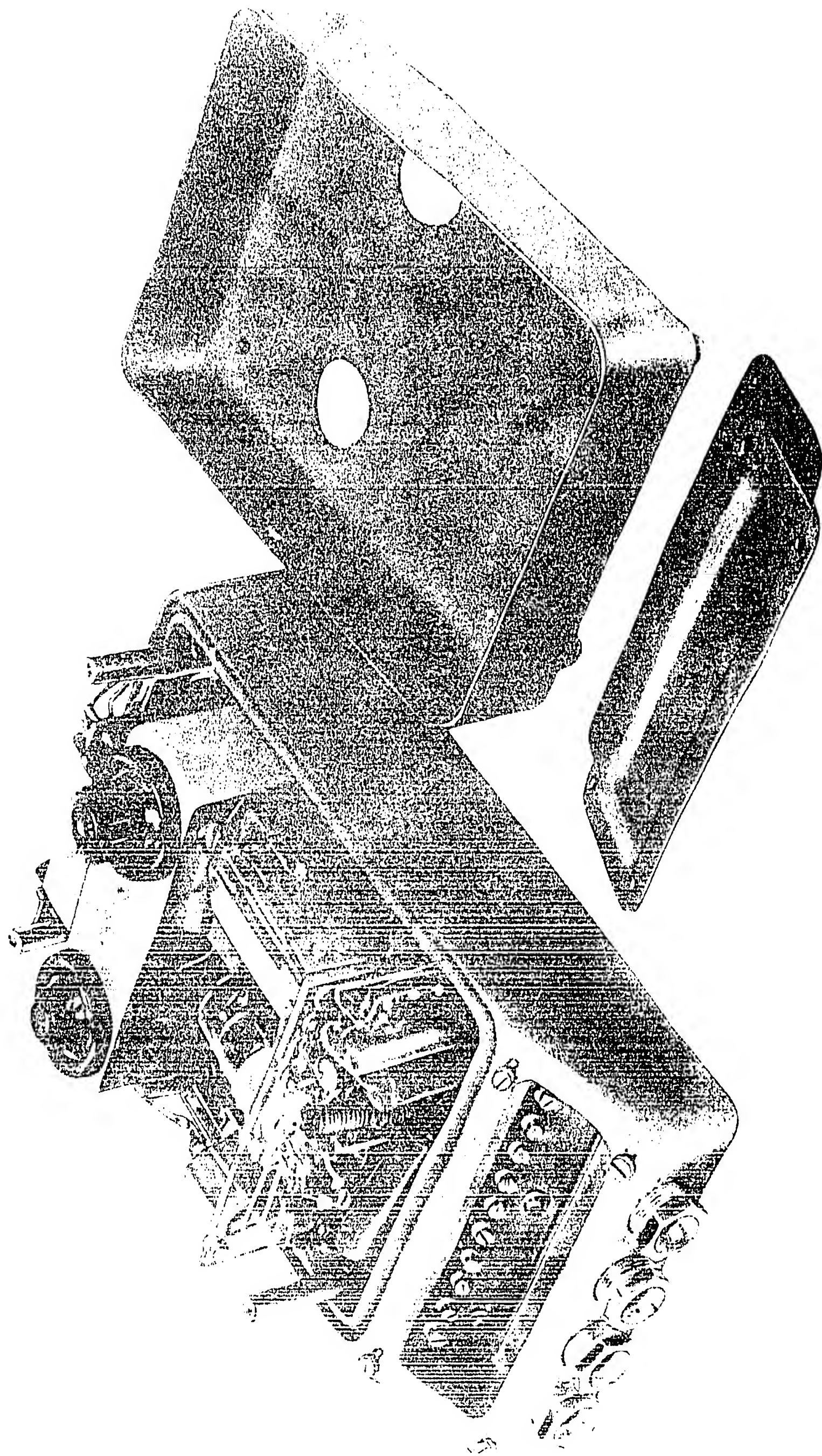


Рис.6. Общий вид унифицированного электронного блока

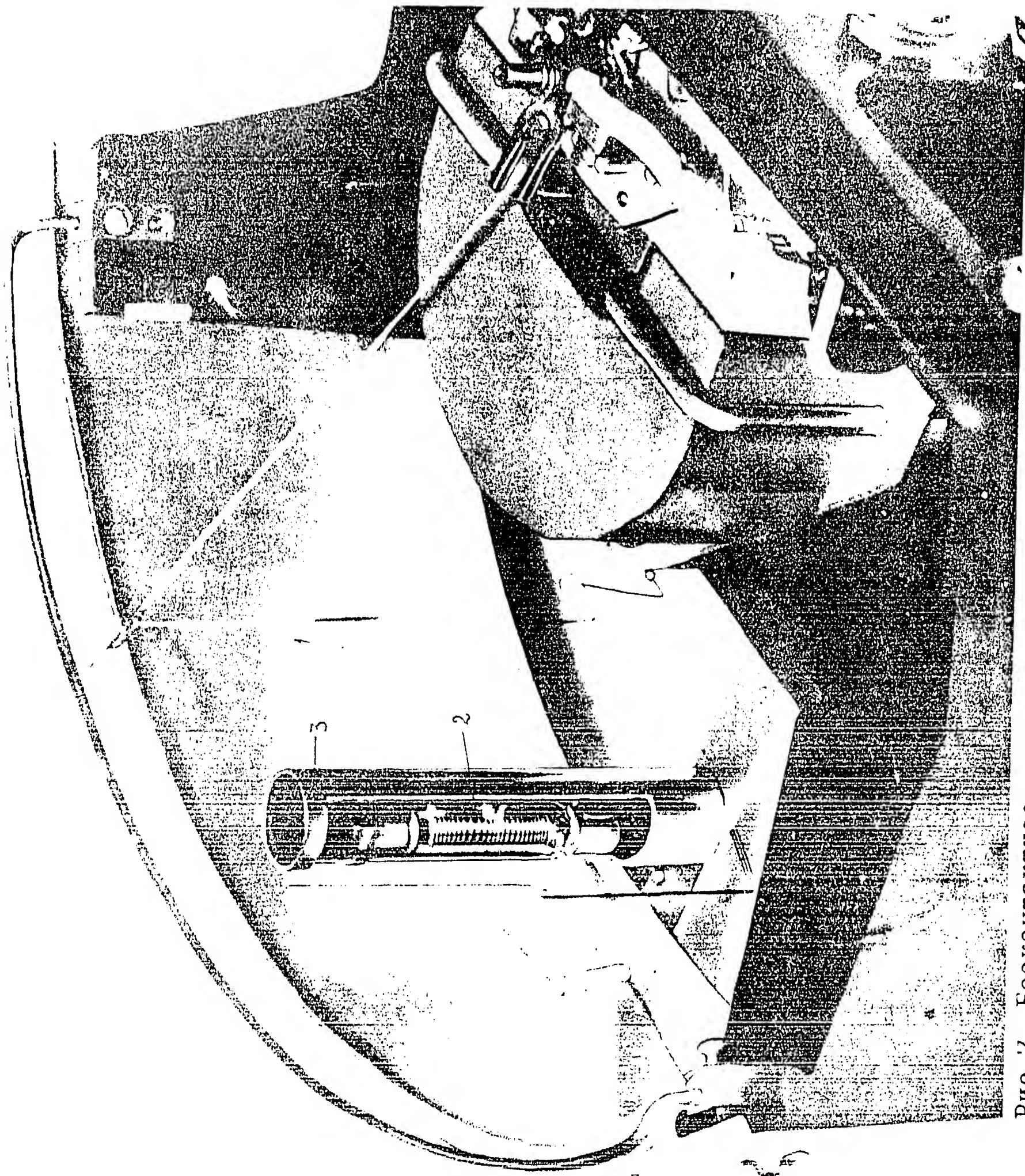


Рис. 7. Бесконтактное, радиоактивное регулирующее устройство в измерительных приборах стрелочного типа  
1 - стрелка, маркированная радиоактивным изотопом  
2 - газоразрядный счетчик 3 - экран